

DK 621.833.004.6

Okvare zobnikov pri industrijskih prenosnikih*

ALBERT STRUNA

Sestavek obravnava okvare zobnikov, razvrščene po vzrokih takole:

1. hrapavost bokov zaradi obdelave,
2. lastnosti materiala in obdelovalni postopki,
3. mehanske poškodbe in napačna montaža,
4. nesnažno mazivo in
5. pomanjkljivo mazanje.

Zobniki v prenosnikih potrebujejo spričo raznovrstnih izvedb, različnih kakovosti in spreminjajočih se obratovalnih okoliščin posebna maziva z raznoterimi lastnostmi. Vse te različnosti povzročajo med obratovanjem mnogotere, nič manj različne pojave, za katerih dokončno dognanje so potrebne teoretične razlage in praktične skušnje. Izvedenska mnenja o okvarah zobnikov sodijo v obširno poglavje iz tehnike mazanja; vsekakor je treba glede tega že vnaprej ugotoviti, da v nekaterih primerih celo pravilno izbrano mazivo okvar sploh ne more preprečevati, marveč je treba iskati vzroke in vplive zanje zunaj t.i. »čiste« teorije o mazanju.

Prenosniki so praktično v rabi v vseh industrijskih panogah povsod tam, kjer je treba posredno prenašati moč s pogonskih strojev na delovne. Zategadelj so bistveni sestavni deli vsakovrstnih strojnih naprav. Razumljivo je, da ima vsaka okvara za posledico resen zadržek v obratovanju, ki ni združen samo s stroški za popravilo, ampak marsikdaj tudi z ustavitvijo obratovanja in posledično tudi z izgubo v proizvodnji.

To potrjuje še večjo pomembnost pravilno dognanih vzrokov za okvare, ker je samo tako mogoče omejevati njihovo ponavljanje ali se jim s pravočasnimi ukrepi sploh izogniti.

Napredek v sodobni gradnji strojev pridaja tudi prenosnikom čedalje zahtevnejše naloge. Raziskovalni izsledki z materiali, izboljšana obdelava in izpopolnjena kontrola na teh področjih omogočajo konstrukcije, ki niso pretirano premočne, temveč se kar se da približujejo dopustnim, naprej določenim mejnim vrednostim. S temi preudarki grajeni prenosniki za prenos določenih moči so zato v sedanjih izvedbah majhni, lahki in ceneni. To pa je neposredno privedlo do povečanih specifičnih obremenitev oziroma večjih sil na zobeh — hkrati z večjo vrtilno hitrostjo in višjimi temperaturami od dosedanjih. Uporabniki prenosnikov morajo pač jemati v poštev, da lažja konstrukcija ustreza vsem računskim osnovam glede zaželenih obremenitev in življenjske dobe, pri čemer pa nobenih preobremenitev ni mogoče obvladovati brez rizika. Vzporedno s tem razvojem so se povečale tudi zahteve glede maziv za prenosnike, kar hkrati še bolj podkrepljuje pomembno vlogo maziv kot bistvenega strojnega elementa med vsemi drugimi.

Prvi pogoj za nemoteno obratovanje sta brezhibna konstrukcija in pravilno dimenzioniranje prenosnika za vsak določen namen, vrhu tega pa tudi skrbna izdelava in montaža oz. postavitve. Nič manj ni potrebna niti izbira pravilnega maziva, ki brez tega narekuje še nenehno kontrolo mazanja, hlajenje itd. Prenosniki, ki obratujejo v tako urejenih pogojih, izkazujejo dobro zaznavno fazo utekanja, med katero se hrapavosti na zobnih bokih kot posledica obdelovanja postopoma zglajujejo. Tako utekanje kaže v idealnem primeru rahlo svetle boke zob in enakomerno nosilno ploskev. Med

poznejšim obratovanjem se pri takih zobnikih ne pojavijo več nobeni znaki obrabe ali pa je čisto nepomembna.

Pravkar opisani primer je imeti za najbolj idealnega. V praksi pa imamo vedno iznova opraviti z okvarami pri prenosnikih, ker se zobje bodisi poškodujejo ali deformirajo ali pa celo lomijo.

Zaradi proučevanja vzrokov za okvare na zobeh je treba ponoviti osnove o gibanju in obremenitvah pri ubiranju zob na zobnikih.

Okoliščine pri gibanju so odvisne od vrste zobnikov. Če jemljemo zobnike kot toga telesa, se sila prenaša z zoba na zob, in sicer glede na vrsto zob vzdolž premice ali prostorske krivulje ali v skrajnem primeru v točki. Dotikalnica na boku zoba med gibanjem spreminja svojo lego. Boka zob pa se pri ubiranju drug po drugem kotalita in drsita. Drsna in kotalna hitrost nista konstantni, temveč se med ubiranjem zob spreminjata.

Okoliščine so najlažje razumljive pri ravnih čelnih zobnikih. Dotikalnice so v tem primeru z osjo vzporedne premice, kotalna hitrost je maksimalna v delilnem krogu, manjša pa je pri glavi in korenu zoba. Drsno gibanje je pravokotno na dotikalnico; pri prehodu skozi delilni krog se smer drsenja spreminja. Hitrost je pri glavi oz. korenu največja, v delilnem krogu pa seveda zaradi spremembe smeri nič.

Okoliščine pri obremenitvi izvirajo iz ugotovitve, da zobnik ni povsem togo telo in se sila prenaša s pasom ploskve — v določeni širini — vzdolž dotikalnice. Zaradi tega nastajajo na preoblikovani površini in v plasteh podnjo zelo različne napetosti. Velikost teh napetosti je odvisna od kovine, sile oz. moči, kolikšno zob prenaša, in od krivinskega polmera na dotikalnišču. Vsekakor pa je prenašanje sile po ploskovnem pasu mnogo ugodnejše od delovanja sile v točki ali na krožno ploskev z razmeroma majhnim premerom. Mimo teh spoznanj si je treba biti pri vsaki okvari še na jasnem, kako zobniki prenašajo sile npr. enakomerno ali z udarci. Absolutna velikost obremenitve in njena vrsta sta v vsakem primeru bistvenega pomena. V tej zvezi je vredno opozoriti, da se npr. življenjska doba krogličnih ležajev, ki so tako in tako pogostoma v rabi tudi pri prenosnikih, skrajša na osmino, če se obremenitev podvoji.

Zaradi deformacije bokov zob in omenjenega drsnega gibanja se neizogibno pojavlja drsno trenje. Mazivo rabi tudi za to, da to trenje zmanjša na kar najmanjšo mero in s tem preprečuje obrabo in izgubo moči. V vseh primerih težimo za tem, da dosežemo popolno hidrodinamično mazanje, ker se pri njem pojavlja samo tekočinsko trenje.

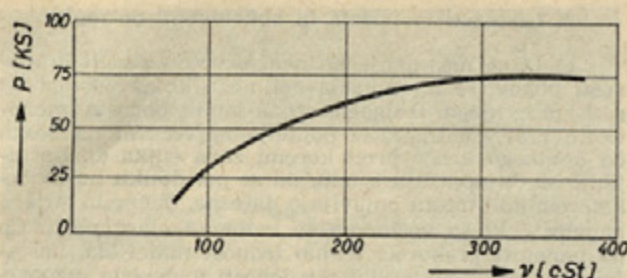
Hidrodinamično mazanje se pri evolventnih zobeh lahko primerja z delovanjem maziva pri kotaljenju dveh valjastih kotalk ene po drugi. Hidrodinamični tlak je zato računsko izsledljiv; kot zgled naj bo omenjena samo enačba po Fullergju:¹

$$p_{max} = \frac{0,425 \cdot 10^{-4} \eta (u_1 + u_2) r^{1/2}}{(1000 h_0)^{1/2}}$$

pri čemer so: h_0 — najmanjša debelina oljne plasti [cm], $r_1 = r_2 = r$ — polmera valjastih kotalk, u_1 in u_2 — ustrezni obodni hitrosti valjev oz. kotalk [cm/s] in η — absolutna viskoznost [cP].

* Predavanje, ki ga je imel avtor 10. junija 1965 pri zunanjem inštitutu tehniške visoke šole na Dunaju, z izvirnim naslovom »Zahnradschäden an Industriegetriebene«. Slike so izbrane iz zajetnega arhiva družbe Mobil Oil Austria, ki ji avtor še na tem mestu izreka posebno zahvalo.

¹ D. D. Fuller, Theorie und Praxis der Schmierung, Berliner Union, Stuttgart, 1960, str. 164.



Sl. 1. Vpliv kinematične viskoznosti v na prenašanje moči P prek zobnikov (po Borsoffu)

Potemtakem izhaja, da je viskoznost olja najbolj odločilna lastnost za presojo obremenilnosti prenosnikov. V tem okviru so raziskovalci dognali teorije in opravili poskuse.

Kot zgled je prikazan diagram po Borsoffu, v katerem predložuje avtor in njegovi sodelavci³ odvisnost viskoznosti olja od možnosti za prenašanje moči po opravljenih poskusih (slika 1).

K temu je vredno pripomniti samo, da je pri majhnih obremenitvah prenašanje moči približno sorazmerno viskoznosti olja; kolikor večje pa so obremenitve in sile na zobe, tem manj je mogoče s povečanjem viskoznosti povečevati preneseno moč.

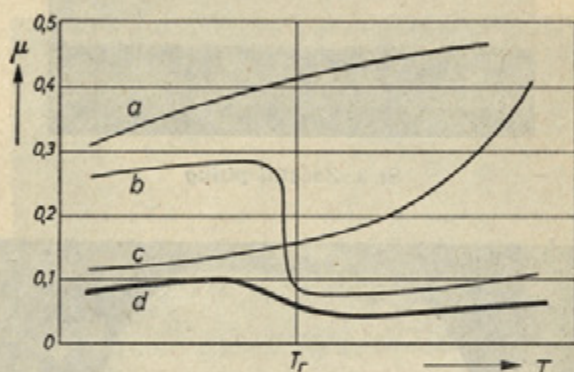
Glede hidrodinamičnega mazanja velja pravilo, da je dosegljivo samo pri ustrezni obremenitvi, določeni viskoznosti in zadostni količini olja, pravzaprav pa vzročno od okoliščin pri gibanju ob ubiranju zob. Kotalno in drsno gibanje pospešujeta nastajanje tlačne oljne plasti. V primerih, ko se gibanji pozitivno prekrivata, so okoliščine za to najugodnejše. Ker se pri ravnih čelnih zobnikih v območju delilnega kroga pojavlja samo kotalno gibanje, so omenjene okoliščine tamkaj relativno neugodne. Pri daljšem proučevanju drsnega gibanja je potrebna ugotovitev, da je le-to odvisno od izvedbe zob. Kadar drse zobje drug po drugem pravokotno ali vsaj približno pravokotno k dotikalnici, kakor npr. pri ravnih ali poševnih čelnih zobnikih, tedaj je nastajanje oljne plasti olajšano. Nasprotno pa vsaj po čisto teoretičnih vidikih hidrodinamično mazanje ni izvedljivo, če se močno drsno gibanje ujema s smerjo dotikalnice, kakor npr. pri polzastih ali hipoidnih zobnikih.

Nasploh pa pri zobnikih načelno ni mogoče računati z idealnim primerom za hidrodinamično mazanje. Zaradi drugih in že navedenih okoliščin se delilna plast olja na nekaterih mestih neizogibno pretrga, nakar se pojavlja mešano trenje, pri katerem naravne lastnosti maziva ne zadostujejo več, da bi obvladale razmere. V teh primerih so potrebna posebna maziva za prenosnike, t. i. »maziva EP«, ki so sposobna vzdržati največje tlake (angl. extreme pressure) in vsebujejo kemično aktivne dodatke, t. i. visokotlačne aditive. Po Fullerju⁴ bi bila za ta maziva primernejša označba, da vzdrže visoke temperature, ker se specifični tlak pri obremenitvah komaj spreminja. Pri tem so predvsem odločilne visoke temperature, ki nastajajo pri takih obremenitvah in velikih drsnih hitrostih.

Skoraj vsakemu kemičnemu elementu je lahko kakor koli pripisovati določene »visokotlačne« lastnosti. Iz sistematičnega pregleda patentne literature pa izhaja, da so v takih aditivih najpogostejše v rabi žveplo, klor in fosfor. Zaradi kemične reakcije nastajajo na kovinskih površinah sulfidi, kloridi in fosfidi in zategadelj močno zmanjšani strižni upor, ker se trenje prenaša v metaloidno mejno plast in s tem varuje osnovna kovina. Zelo visoka tališča (npr. železovega sulfida pri 1150 °C, železovega klorida pri 660 °C) dopuščajo, da osta-

jajo mejne plasti celo pri visokih kontaktnih temperaturah neprizadete. Seveda pa so maziva EP v območju pod reakcijsko temperaturo bolj ali manj neučinkovita. Zato je priporočljivo k posebnim mazivom za prenosnike dajati še dodatek določene maščobne kisline.

Vpliv dodatkov prikazuje diagram po Bowdenu.⁴ Krivulja mineralnega olja izkazuje povečanje trenja z naraščajočo temperaturo. Krivulja maziva z dodatkom maščobne kisline kaže, da je mazivo učinkovito, dokler ostane ohranjeno po kemični reakciji nastalo kovinsko milo. Ko pa se to — pri doseženem tališču — stali, se neizogibno začne povečanje trenja. EP-mazivo ne izkazuje posebno izrazite učinkovitosti, dokler ni dosežena kritična temperatura. Krivulja v diagramu spodaj bi bila najidealnejši primer, kajti pod kritično temperaturo zmanjšuje trenje dodatek maščobne kisline, nad njo pa je doseženo učinkovito mejno mazanje z »visokotlačnimi« dodatki (slika 2).



Sl. 2. Shematični diagram vpliva različnih maziv na torni koeficient μ pri različnih temperaturah T

- a — mineralno olje,
- b — mazivo EP,
- c — maščobna kislina,
- d — maščobna kislina v mazivu EP.

Za nadaljnje proučevanje je treba imeti pregled o okvarah na zobnikih.

Načelno je treba razlikovati okvare na zobnih bokih in lome zob. Za opisovanje okvar na bokih so v rabi najrazličnejše označbe, ki največkrat zadevajo videz okvare, vendar doslej še niso bile poenotene. Za prakso je mnogo večjega pomena, da si posamezne okvare razporedimo po vzrokih, s čimer je tudi že nakazana pot za njihovo odstranjevanje. Vzroke je večina mogoče razvrstiti v pet skupin, omenjenih takoj v uvodu.

1. Hrapavost bokov zaradi obdelave

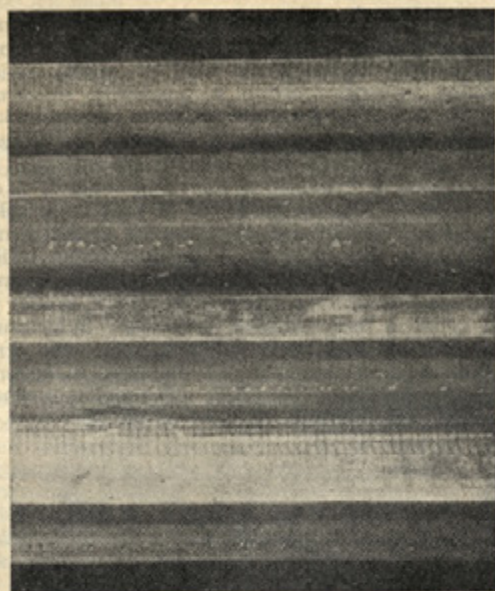
Tudi s sodobnimi obdelovalnimi postopki je mogoče hrapavost zobnih bokov samo zmanjševati. Pri utekanju se površine še bolj zglajujejo, ker odstranjujemo konice hrapavega materiala, ki se hkrati v hladnem utruje.

Med utekanjem lahko npr. pri ravnih čelnih zobnikih nastajajo jamice v območju delilnega kroga, ki jih imenujemo »začetni pitting«. V območju delilnega kroga gre praktično samo za kotaljenje. Zato so okoliščine za mazanje najneugodnejše, tako da se med utekanjem hrapavosti ne zglajujejo v tolikšni meri kakor po bokih proti glavi in korenu zoba. Konice hrapavosti se okoli delilnega kroga močneje in venomer obremenjujejo, tako da se material utruja in stalno bolj poka. Sprva drobne razpoke se s časom tako povečajo, da se material izlušči in so jamice tudi dobro vidne. Na sliki 3

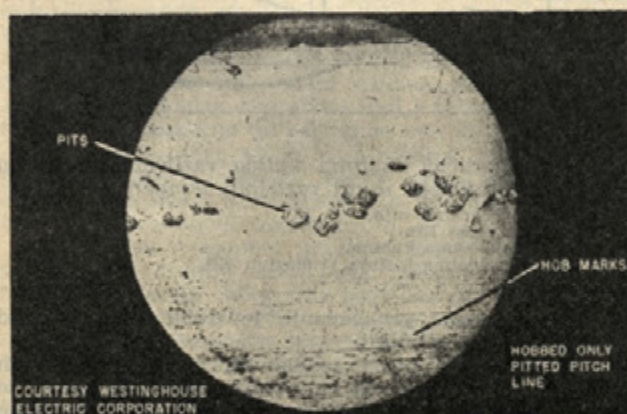
³ Borsoff — Accinelli — Cattaneo, The Effect of Oil Viscosity on the Power Transmitting Capacity of Spur Gears, ASME, 190.

⁴ Glej 1, stran 340.

⁴ Bowden — Tabor, Reibung und Schmierung fester Körper, 1939, Berlin — Göttingen — Heidelberg.



Sl. 3. Začetni piting



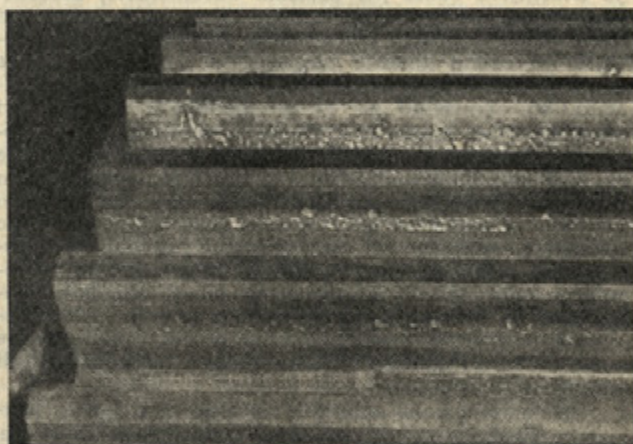
Sl. 4. Začetni piting v povečanem merilu

so razvidne jamice te vrste, ki jih imenujemo »piting«. Značilno je, da so jamice razvrščene po delilnem krogu in razmeroma majhne. V povečanem merilu prikazuje jamice slika 4. Enako značilno je dalje, da nastajajo jamice vzdolž vrha grebena, kakršen ostane po obdelovalnem postopku. Zato je mogoče začetni piting z bolj-šim obdelovanjem zmanjšati in sploh preprečiti. Sicer pa se včasih okvara te vrste tudi povsem ustavlja in ni neogibno potrebno, da bi se morala čedalje bolj razjedati površina zoba, ki se pozneje še bolj zglajuje. To velja za ravne čelne zobnike, v še večji meri pa pri poševnih zobeh, pri katerih kotaljenje zob ni nikdar omejeno samo na območje delilnega kroga po vsej dol-žini zoba. Tudi pri ravnih čelnih zobnikih se da po-javljjanje pitinga ustaviti. Pri velikih obremenitvah pa so robovi jamic preobremenjeni, tako da se jamice povečujejo. V tem primeru govorimo o progresivnem ali destruktivnem pitingu, slika 5, ki se preprečuje z zmanjšanjem obremenitve. Razen tega pomaga tudi uporaba bolj viskozne olja, ki preprečuje dotikanje zobnih bokov in glede na njihovo hrapavost omogoča boljše razdeljevanje obremenitev. Slednja rešitev pa je prijemljiva samo v nekaterih primerih, ker je uporaba olja z večjo viskoznostjo odvisna še od drugih faktor-jev, ki ji odredajo povsem določene meje.

2. Lastnosti materiala in obdelovalni postopki

Opisano nastajanje pitinga, prvotno zaradi hrapa-vosti bokov, se iz območja delilnega kroga postopoma razširja iz njega. Drugačna vrsta jamic, pogosto imeno-vanih tudi »spaling«, se pojavlja največkrat na bokih od delilnega kroga proti korenu zoba (slika 6). Nasta-janje se da pojasniti s tem, da se pri dotiku bokov na katerem koli mestu pojavljajo natezne, tlačne in strižne napetosti, ki so večinoma še v mejah elastičnosti. Če pa napetost prekorači trajno trdnost materiala, nastajajo pod površino zaradi utrujenosti materiala razpoke, in sicer tam, kjer so strižne napetosti največje. Nadaljnja posledica tega pojava so jamice, ker se material izlušči. Sliki 7 in 8 predočujeta močno povečan nazoren prerez površine zoba ob začetku in nadaljevanju utrujenostne okvare.

Spaling, slika 9, se lahko razširi po vsej širini zoba. Značilno pa je, da ne sega preko delilnega kroga, kar se da razlagati z razmerami gibanja in obremenitev. Glava zoba (nad delilnim krogom), ki ubira v tako okvarjen koren drugega zoba, je večinoma popolnoma gladka, se pravi brez pitinga, če je mazanje sicer pra-vilno. Iz tega tudi izhaja, da je treba iskati vzrok v materialu in ne gre za nobeno napako pri mazanju. V nekaterih primerih pomaga izbira bolj viskoznega olja, ker se z njim dosega enakomernjša razdelitev obremenitve. Odločujoča pa sta vsekakor pravilna iz-bira materiala in njegova toplotna obdelava.



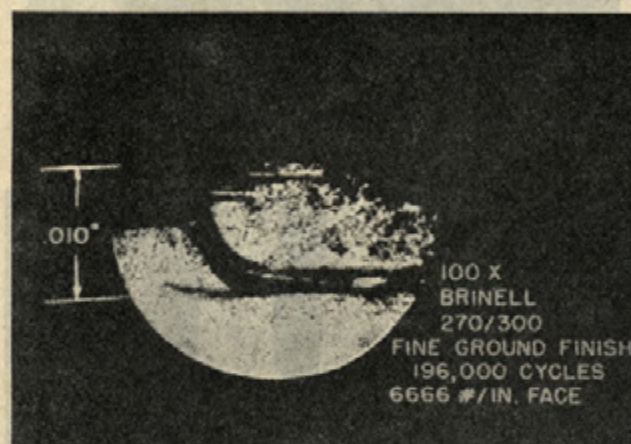
Sl. 5. Progresivni ali destruktivni piting



Sl. 6. Spaling



Sl. 7. Povečan prerez površine zoba ob začetku

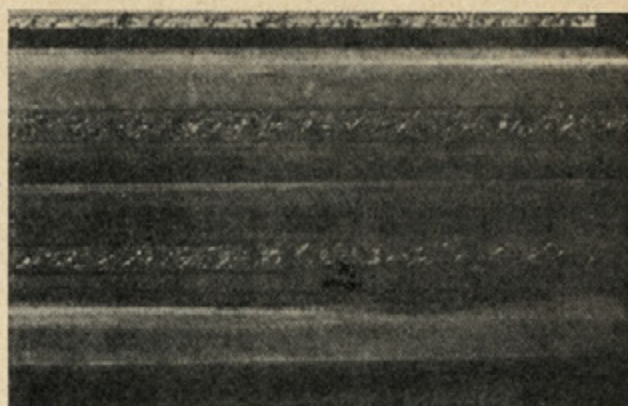


Sl. 8. Nadaljevanje utrujenostne okvare

Napredujoče utrujanje materiala lahko povzroča tudi lome zob, t. i. trajne in utrujenostne lome. Slednji so posledica ponavljajočih se sprememb obremenitve in nikdar ne nastajajo nenadoma. Znano je, da se utrujenostni lom počasi razširja iz sprva drobne razpoke po materialu, dokler zaradi njega ostali prerez ni več sposoben zdržati obremenitev in se naenkrat nasilno odlomi. Površina utrujenostnega loma je nasploh drobnoprstnata, in sicer tem bolj, kolikor počasneje je nastajal, slika 10, in so zato na njem tudi sledovi torne rje. Nasilni lom, slika 11, pa izkazuje bistveno bolj debelo in neravno površino. Z mazivom se lom zob ne da preprečiti.

Če je material zob premehak ali preslabo kaljen, se lahko tudi pri normalni obremenitvi in obratovalni temperaturi plastično deformira. Posledice so zelo različne. Pri zobniku na sliki 12 se je zaradi valjanja materiala na glavi zoba pojavil oster greben. V skrajnem primeru nastajajo na bokih kovinske luskinke ali pa se — posebno pri sunkovitem obratovanju — premehak material iztiska na koncih zob. Razumljivo je, da takšnih napak pri izbiri in toplotni obdelavi materiala ni mogoče izravnati z mazivom.

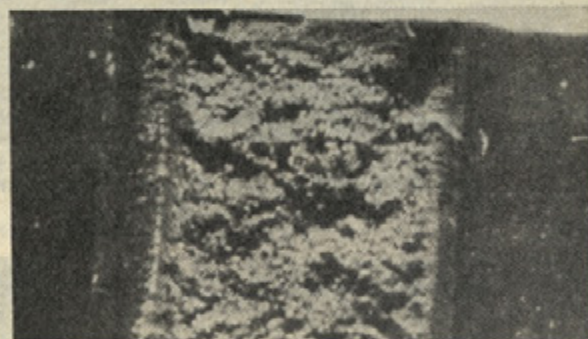
V poglavju o materialu in tehnoloških postopkih ne sme ostati neomejeno nastajanje razpok površ že naštetih. Razpoke v materialu lahko nastajajo tudi zaradi žilindrične ali drugačnih nekovinskih vključkov v njem. Vzroki s podobnimi posledicami so tudi še napake pri kaljenju ali pri brušenju, kjer nastajajo razpoke zaradi čezmernega segrevanja obdelovanca, zaradi neustrezne kombinacije materiala, brusilnih kolutov in hladilnega sredstva.



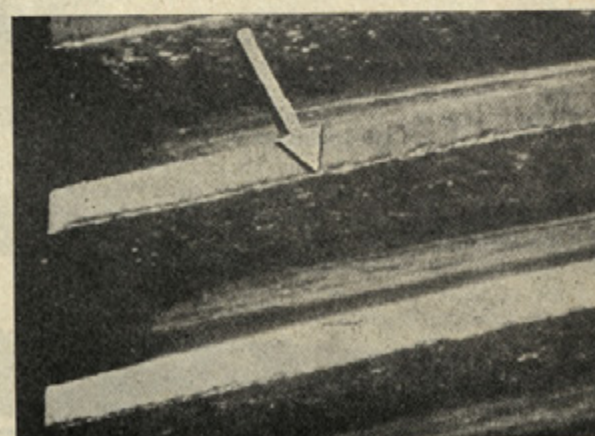
Sl. 9. Progresivni spaling



Sl. 10. Utrujenostni lom



Sl. 11. Nasilni lom



Sl. 12. Greben na glavi zoba

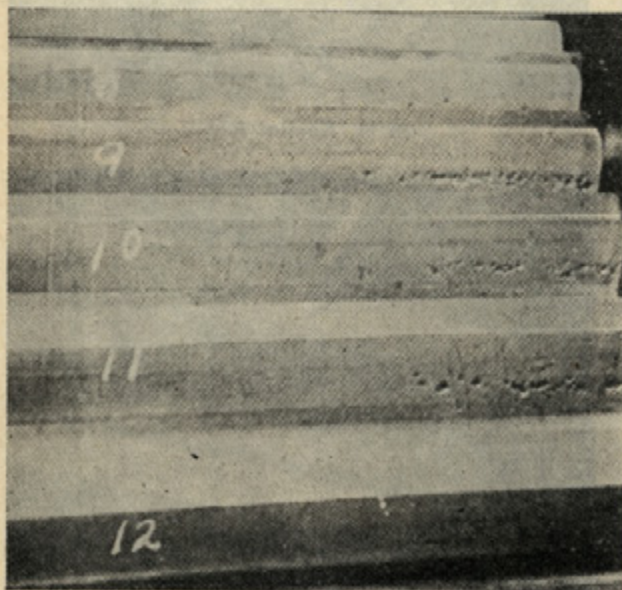
3. Mehanične poškodbe in napačna montaža

Mehanične poškodbe, ki so večidel krajevno omejene, so posledica napak zaradi neprimernega ravnanja pri izdelavi ali montaži ali pa jih povzročajo večji tujki, ki prihajajo med zobe. Marsikdaj se odlomi zob popolnoma ali delno. Tak lom spada vselej med nasilne kot posledica neke prevelike ali vsaj nepričakovane preobremenitve. Mehanične poškodbe se lahko prenašajo na vse ubirajoče se zobe. Na sliki 13 je videti ladijski prenosnik s poškodovanimi zobmi zaradi kovinskih drobcev.

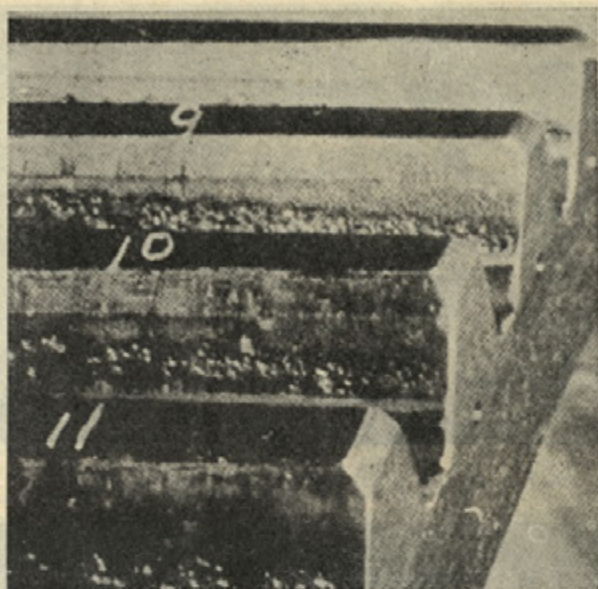
Pri zasnovi prenosnikov je treba upoštevati vse dane okoliščine glede obremenitve, skoraj v vseh primerih pa njeno enakomerno razdelitev po vsej širini zoba. Neenakomerna razdelitev obremenitve ne zmanjšuje življenjske dobe zobnikov samo linearno, marveč v mnogo izdatnejši meri. Enostranske obremenitve ali posebne neugodne okoliščine so lahko posledice bodisi okvarjenih ležajev, napačne montaže ali npr. neustrezne toplotne obdelave deformiranih zobnikov. Zato so mogoče okvare vseh vrst, ki nastajajo pri preobremenitvah, tako npr. spaling zaradi utrujenosti materiala.



Sl. 13. S kovinskimi drobci okvarjen ladijski prenosnik



Sl. 14. Spaling zaradi enostranske obremenitve



Sl. 15. Razširjen spaling



Sl. 16. Utrujenostni lom zaradi enostranske obremenitve

Na sliki 14 je posnetek s takim primerom. Očitno osi zobnikov niso bile vzporedne, tako da se je material utrudil zaradi enostranskega prenosa moči in preobremenitve, med nadaljnjim obratovanjem pa se je okvara razširila po vsem zobu (slika 15). V posebno resnih primerih privaja enostranska obremenitev zaradi utrujenosti zob do utrujenostnega loma, nakar se redoma zaradi sunkovite obremenitve odlomi še vrsta drugih zob. Glej sliko 16.

4. Nesnažno mazivo

Trdni tujki v olju poškodujejo boke zob in povzročajo dodatno obrabo. Tujki prihajajo v mazivo bodisi od zunaj, npr. zaradi odprtih prezračevalnikov, ali pa izvirajo že iz okrova samega, ker pri montaži niso bili povsem odstranjeni rjasti ostanki, okujine ali niti ne brusni prah in livarski pesek. Upoštevati pa je treba kljub temu, da je med obratovanjem prezračevanje prenosnikov neogibno potrebno, zaradi česar se ob prezračevalnih odprtinah pojavljata nad- in podtlak; tako

je omogočen, pa čeprav nezaželen dostop prahu iz okolice in druge nesnage. Temu se pridružujejo še kovinski delci različnih oblik in trdote kot posledice obrabljenih ležajev in zobnikov. Ker pa je obraba največkrat v točkasti obliki posledica visokega tlaka in temperature, se drobni kovinski delci v olju zakale, tako da je kaljenje zaradi razmerja mas skoraj istovetno s kaljenjem v vodi. Ti delci so zelo trdi in zato nevarni.

Trdota tujkov in druge nesnage seveda močno vpliva na obrabo zob. Mehki delci se med zobmi razvaljajo in le redko poškodujejo površine bokov. Drobna in trda nesnaga povzroča sicer večjo obrabo, vendar učinkuje pravzaprav kot polirno sredstvo in boke zglajuje. Večji delci napravljajo različne praske, ki so posebno močne tam, kjer je drsno gibanje zobnih bokov najmočnejše. Večji in trdi kovinski drobci, npr. od pitinga, pa se v boke večkrat kar vtiskajo, kakor prikazuje slika 17.

K nevšečnim nesnažnim primesem v mazivu prištevamo tudi vodo, ki je vselej prisotna kot kondenzat, zraven tega pa morda še kemično agresivne snovi, ki lahko povzročajo korozijo kakor npr. soli kalilnega postopka ali industrijski plini. Smotrno prezračevanje prenosnika preprečuje kondenzacijo.

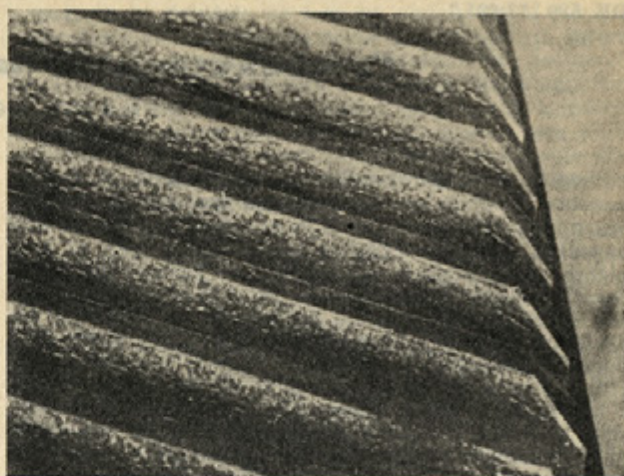
5. Pomanjkljivo mazanje

Za nemoteno obratovanje je vsekakor potrebno pravilno in primerno mazivo, ki mora — kakor je bilo že rečeno — ustrezati mnogoterim zahtevam. Na tem mestu naj bo izrečen samo še poudarek, da je za preprečevanje trenja in obrabe odločujoča viskoznost olja kakor tudi njegova sposobnost, da ohranja med drsnimi ploskvami nosilno plast tudi pri mejnem trenju.

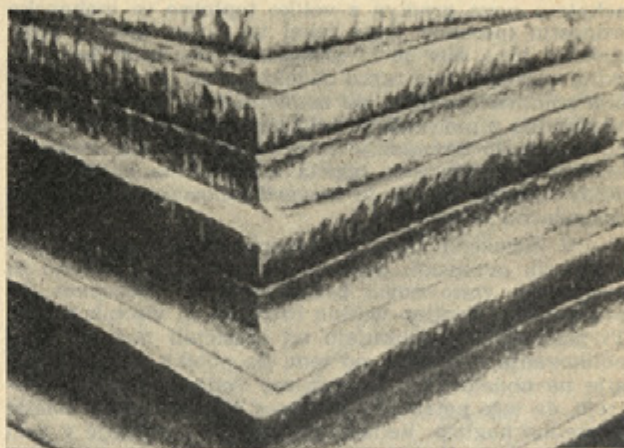
Zaradi neustreznega maziva ali nedopustne obremenitve se plast maziva pretrga in se zato na prizadetih mestih kovina dotika kovine. Obraba sicer lahko boke zob tudi polira, v največ primerih pa jih napravlja hrapave. Kadar pa so določeni obremenitveni in drsni pogoji prekoračeni, se hrapave površine pri kovinskem trenju kratko malo zvarjajo. V teh primerih se material odtrga od boka enega in prenaša na bok drugega zoba. Okvara te vrste izkazuje grobe in zelo poškodovane površine. Okvare, ki so kakor koli v zvezi z mazivom, se pojavljajo najprej seveda predvsem tam, kjer je drsna hitrost največja, npr. pri ravnih čelnih zobnikih na glavah in korenih zob. Močno razjedanje in čezmerna obraba včasih prizadevata zobe po vsej širini. Taka okvara, imenovana tudi »galing«, je pri puščicastem zobniku prikazana na sliki 18. Posebej značilen zanj je žleb v območju delilnega kroga, kar pomeni z drugimi besedami, da gre za zobnik, ki poganja drugega. Pri okvari te vrste se tedaj prenaša material po smeri drsenja iz gonilnega kolesa na gnano, tako da nastajajo na zobeh prvega žlebovi, na drugem pa grebeni.

Povrh pogoja, da mora imeti olje ustrezno viskoznost in primerne »visokotlačne« lastnosti, je bistvenega pomena še, da prihaja med zobe zadostna količina olja in njegova temperatura ne sme presegati dopustnih mej. Pri pomanjkanju olja je mazanje pomanjkljivo, prevelike količine pa povzročajo pregrevanje.

Preobremenitve prenosnikov, napake pri izdelavi in montaži, sunkovito obratovanje in tresljaji ter še vrsta drugih vzrokov lahko vsak čas ustvarjajo razloge



Sl. 17. Okvara zaradi nesnage



Sl. 18. Galing pri puščicastem zobniku

za okvare, ki jih tudi z najboljšim mazivom ni mogoče preprečiti.

V tem sestavku zbrani podatki ne zaobsegajo vseh podrobnosti in niso popolnoma izčrpní. Vzlic temu pa vendarle razčlenjujejo vzroke, ki so najpogostnejši in je o njih nenehno največ besed v izvedenskih mnenjih. V mnogih primerih je vzrokov lahko tudi več. Zato je razumljivo, da pri določeni okvari ni lahko odrediti diagnoze, hkrati pa tudi ni vsakokrat povsem nedvoumna. Glede na to je treba dobro pretresati vse okoliščine, ne nazadnje pa so za presojo koristne tudi skušnje. V najbolj zamotanih primerih je zanj potrebno sodelovanje med strokovnjaki za prenosnike in mazanje ter metalurgi. Dosledno prenašanje krivde na mazivo je samo izhod, ki — kakor kaže praksa — privaja do dragega zavlačevanja, da bi prišli pravemu vzroku do živga.